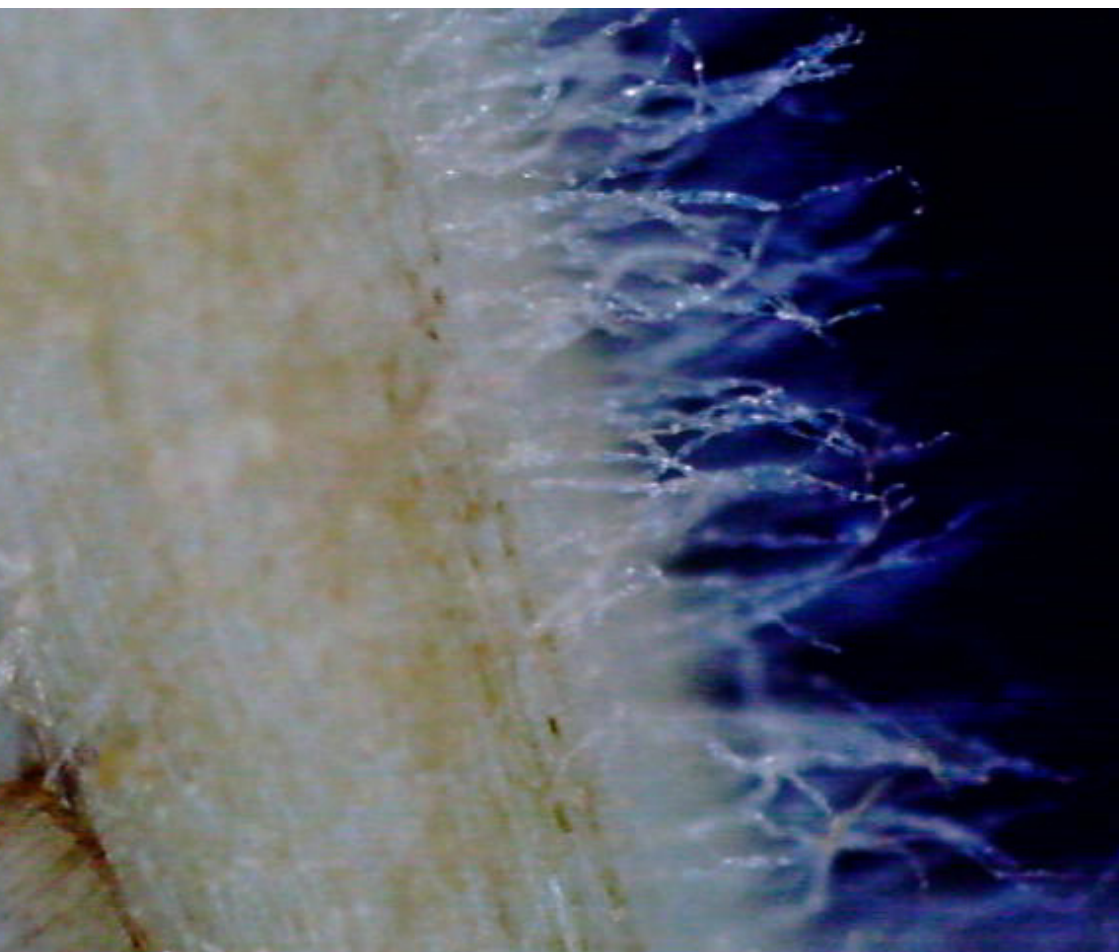


Seleção de genótipos de soja ricos em pelos radiculares - Ano de 2015



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Embrapa Soja

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 10

Seleção de genótipos de soja ricos em pelos radiculares - Ano de 2015

Sergio Luiz Gonçalves

José Ubirajara Vieira Moreira

Antonio Eduardo Pípolo

Carlos Alberto Arrabal Arias

Elizeu David dos Santos

Wellington Bruno da Silva Nascimento

Autores

Embrapa Soja

Londrina, PR

2016

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja

Rodovia Carlos João Strass, s/n, acesso Orlando Amaral, distrito da Warta
Caixa Postal 231
CEP 86001-970, Londrina, PR
Telefone: (43) 3371 6000
Fax: (43) 3371 6100
www.embrapa.br/soja
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Ricardo Vilela Abdelnoor*

Secretário-Executivo: *Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*

Membros: *Alvadi Antonio Balbinot Junior, Claudine Dinali Santos Seixas, Fernando Augusto Henning, José Marcos Gontijo Mandarino, Liliâne Márcia Mertz-Henning, Maria Cristina Neves de Oliveira, Norman Neumaier e Vera de Toledo Benassi.*

Supervisão editorial: *Vanessa Fuzinatto Dall´Agnol*

Normalização bibliográfica: *Ademir Benedito Alves de Lima*

Editoração eletrônica: *Vanessa Fuzinatto Dall´Agnol*

Foto da capa: *Sergio Luiz Gonçalves*

1ª edição

PDF digitalizado (2016)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Soja

Seleção de genótipos de soja ricos em pelos radiculares – ano de 2015

[recurso eletrônico]: / Sergio Luiz Gonçalves... [et al.] – Londrina: Embrapa Soja, 2016.

18 p. : il. ; – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Soja, ISSN 2178-1680; n.10)

1.Soja-Genótipo. 2.Soja-Pelo radicular. 3.Soja-Raiz. I.Gonçalves, Sergio Luiz.
II.Moreira, José Ubijara Vieira. III.Pípolo, Antonio Eduardo. IV.Arias, Carlos Alberto Arrabal. V.Santos, Elizeu David dos. VI.Nascimento, Wellington Bruno da Silva. VII. Título. VIII.Série.

CDD 633.347 (21.ed.)

© Embrapa 2016

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	8
Resultados e Discussão	9
Conclusões	13
Referências	15

Seleção de genótipos de soja ricos em pelos radiculares - Ano de 2015

Sergio Luiz Gonçalves¹, José Ubirajara Vieira Moreira¹, Antonio Eduardo Pípolo¹, Carlos Alberto Arrabal Arias¹, Elizeu David dos Santos² e Wellington Bruno da Silva Nascimento³

Resumo

O reconhecimento da importância dos pelos radiculares para a sobrevivência e a nutrição das plantas é crescente, sendo que genótipos ricos em pelos radiculares possuem maior capacidade de adaptação a ambientes sujeitos a restrições. Neste trabalho foi feita uma seleção de genótipos de soja, baseada na densidade visual de pelos da raiz principal e das laterais e na medição do comprimento médio dos pelos radiculares, de linhagens e cultivares. Foram avaliados 34 genótipos, no ano de 2015, no laboratório de tecnologia de sementes da Embrapa Soja. A semeadura foi realizada em papel de germinação, umedecidos em solução nutritiva de sulfato de cálcio. Imagens de raízes foram obtidas de plântulas com seis a sete dias de idade. Os dados foram tabelados e utilizados numa análise de agrupamento, separando-se semelhanças e diferenças entre os genótipos para as variáveis estudadas. De modo geral, tanto as densidades quanto o comprimento dos pelos mostraram valores médios. Porém, vários genótipos mostraram valores extremos, havendo altas e baixas densidades, sendo que os pelos mais curtos situaram-se na faixa de 0,30 mm e os mais longos entre 0,65 e 0,67 mm. A metodologia utilizada mostrou-se útil para a realização de avaliações iniciais, na busca de plantas com potencial de melhor adaptação a ambientes restritivos do ponto de vista hídrico e nutricional.

¹ Pesquisador, Dr., Embrapa Soja, Londrina, PR.

² Estagiário de Agronomia, Centro Universitário Filadélfia de Londrina (UNIFIL), Londrina, PR.

³ Estagiário de Agronomia, Universidade Norte do Paraná (UNOPAR), Londrina, PR.

Selection of soybean genotypes with abundant root hairs - 2015

Abstract

Recognition of the importance of root hairs for survival and plant nutrition is increasing, since genotypes with abundant root hairs have greater adaptability to environments subject to restrictions. In this work, soybean genotypes were selected based on the visual root hair density in the main and in lateral roots and on the measurement of length of root hairs in lines and cultivars. We evaluated 34 genotypes at the Embrapa Soybean seed technology laboratory, in 2015. Seeds were germinated in germitest paper rolls wetted in calcium sulfate nutrient solution. Root images were taken of six to seven days old seedlings. Data were collected and submitted to cluster analysis, separating similarities and differences between genotypes for the studied variables. In general, both data on root hair density and length showed intermediate values. However, various genotypes showed extreme values, having high and low densities. The shorter root hair length was 0.30 mm and the longer ranged from 0.65 to 0.67 mm. The methodology was useful for conducting preliminary experiments, in search of plants with potential for better adaptation to restrictive water and nutritional environments.

Introdução

Nos cenários agrícolas atuais aumenta cada vez mais a importância de buscas por novas alternativas de convivência das plantas com ambientes sujeitos a restrições. Nesse cenário o aprofundamento de estudos para o detalhamento do sistema radicular das espécies cultivadas ganha um espaço cada vez maior (GONÇALVES; LYNCH, 2014b). As diferenças genotípicas existentes em diferentes traços de raízes, entre eles a densidade e o comprimento dos pelos radiculares, possibilitam a seleção de genótipos com maior potencial produtivo e capacidade de tolerar estresses ambientais. Os pelos radiculares têm grande importância na adaptação das plantas às restrições hídricas cada vez mais frequentes, sendo que, evolutivamente representam uma adaptação dos ambientes aquáticos aos ambientes terrestres (RAVEN; EDWARDS, 2001). São também reconhecidos como um sinônimo de baixo custo metabólico para as plantas, sempre descritos e considerados nos ideótipos de raízes, conforme Bibikova e Gilroy (2003), Lynch (2007, 2013) e White et al. (2013). Segundo Segal et al. (2008), o crescimento dos pelos radiculares requer um investimento mínimo em biomassa, aumentando significativamente o raio de ação da raiz, sendo uma alternativa mais positiva para a planta do que um comprimento maior ou um diâmetro maior da raiz. A exemplo disso, relataram que, comparando uma cultivar de cevada rica em pelos radiculares com outra, sem pelos, concluíram que, em solo arenoso, pelos de 0,5 e de 1,0 mm de comprimento, absorvem 30 e 55%, mais água, respectivamente. E o fator hídrico não é o único na importância dos pelos radiculares. Do aspecto nutricional, eles são extremamente eficientes na absorção de nutrientes de baixa mobilidade, principalmente o fósforo, que é um recurso natural não renovável e as suas reservas passarão a ser consideradas limitantes já nas próximas décadas (BONSER et al., 1996; CORDELL et al., 2009; GILBERT, 2009). Gahoonia et al. (2001) demonstraram a importância dos pelos radiculares para absorver fósforo quando ele é limitado. Em cevada, concluíram que, num solo pobre em fósforo, a absorção do nutriente é o dobro numa cultivar com longos pelos em comparação com uma mutante sem pelos, além de intensa atividade

ácida na rizosfera. Segundo Brown et al. (2013), tal atividade ácida é positiva, promovendo a mobilização e ajudando a absorção de fósforo, uma vez que o fósforo orgânico (Po) antes de ser usado pela planta tem que ser mineralizado. Estes autores propõem um modelo de pelo radicular, cujo ideal para as plantas, seria o de pelos mais longos e com mais tempo de vida do que pelos curtos e em grande densidade. Os pelos radiculares também possuem um papel fundamental no processo de fixação biológica do nitrogênio em leguminosas como a soja, tendo participação decisiva na troca de moléculas que possibilitam o estabelecimento da simbiose entre a planta e as bactérias fixadoras de nitrogênio (BRECHENMACHER et al., 2010). E neste particular, outro aspecto a ser lembrado é que, a fixação de nitrogênio demanda grande quantidade de fósforo (VANCE, 2001), especialmente para as leguminosas. Todos estes fatores são de grande importância para o melhoramento de plantas, visto que existe variabilidade genética para estas características, o que possibilita a seleção de genótipos de interesse agrônomo, como fizeram Bonser et al. (1996) e Vieira et al. (2007), para feijão. Em soja, Wang et al. (2004) destacaram que, a densidade de pelos nas raízes basais (laterais) apresenta baixa herdabilidade, sendo mais influenciável pelo ambiente do que o comprimento do pelo, que é menos influenciável pelo ambiente e possui alta herdabilidade. Por sua vez, a densidade dos pelos radiculares é importante para a absorção de fósforo, com destaque maior nas raízes basais (laterais) em comparação com a raiz principal.

Com o surgimento de novos equipamentos e métodos, nas últimas décadas foram desenvolvidas novas formas não destrutivas de avaliar raízes. Esses métodos permitiram a avaliação de raízes ainda jovens e pequenas, tornando mais ágil o processo de seleção de características desejáveis. A complementação de estudos com o uso de imagens fotográficas, microscópios estereoscópios, com aumentos significativos de detalhes antes nunca vistos, softwares específicos para a realização de medições e avaliações de diversos aspectos das raízes, abriram um novo horizonte na seleção de genótipos agronomicamente interessantes. As duas principais avaliações feitas nos pelos radiculares são o comprimento e a sua densidade por unidade de área. Alguns trabalhos

apresentam a densidade com base na contagem de pelos por milímetro quadrado (JOSHUA, 2013) e outros por milímetro linear (MACKAY; BARBER, 1985). A medição dos pelos pode ser feita diretamente em imagens fotográficas, com escala graduada em milímetros (GONÇALVES; LYNCH, 2014a). O objetivo deste trabalho foi a seleção de genótipos de soja, ricos em pelos radiculares, como parte do programa de melhoramento genético da Embrapa.

Material e Métodos

Foram utilizados 34 genótipos de soja, do Programa de Melhoramento da Embrapa Soja. O experimento foi realizado no Laboratório de Sementes da Embrapa Soja, em Londrina, PR. Os 34 genótipos foram semeados no ano de 2015, organizado em forma de rotina, onde foram feitas semeaduras e coletas de dados semanais. O delineamento experimental foi o de blocos totalmente casualizados, com quatro repetições. Ao final do experimento, os dados foram utilizados para uma classificação dos genótipos por análise de agrupamento, ou análise de “clusters” (STATISTICA, 1995).

Antes de cada semeadura, as sementes foram desinfestadas à superfície por 1-2 minutos com 10% de hipoclorito de sódio, lavadas com água deionizada e germinadas em rolos de papel germitest (em folhas duplas), que, contendo de cinco a seis sementes cada um, foram colocados verticalmente em béqueres com 1 L de CaSO_4 0,5 mM e cobertos por um filme plástico transparente (GONÇALVES; LYNCH, 2014b). Em seguida as sementes foram colocadas para germinar no escuro a 25 °C, por uma semana. No sétimo dia foram tomadas imagens para as avaliações da densidade e do comprimento dos pelos. Foi utilizado um microscópio digital portátil para a tomada dessas imagens digitais, juntamente com uma escala graduada em milímetros. As imagens, em formato jpg, foram analisadas visualmente para a determinação da densidade de pelos tanto na raiz principal quanto nas laterais e também do comprimento médio dos pelos da raiz principal de cada genótipo. Foi criada escala de notas segundo Marques Júnior et al. (1997), de apenas três níveis (do tipo alto, médio e baixo), onde foi dada a nota 3

quando o genótipo apresentava alta densidade de pelos no terço superior da raiz principal; nota 2 para uma densidade apenas média e nota 1 para baixa densidade. Da mesma forma, para a densidade de pelos nas raízes laterais, foi dada a nota 3 para alta densidade, nota 2 para média e nota 1 para poucos pelos ou quando eram ausentes (Figura 1). O passo seguinte foi a determinação do comprimento médio dos pelos radiculares da raiz principal a partir das imagens, com o uso de um software específico para isso (GONÇALVES; LYNCH, 2014a).

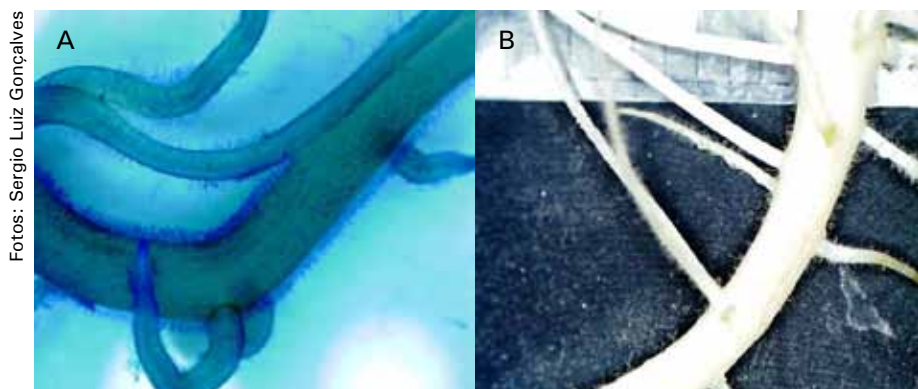


Figura 1. Genótipos com alta densidade de pelos (A), e com pilosidade média (B).

Para a determinação do comprimento dos pelos radiculares a imagem da escala foi utilizada como referência para calibração do software quanto ao número de pixels por milímetro. Em seguida foram feitas as leituras do comprimento de cinco a oito pelos por imagem. Os arquivos das imagens foram salvos em planilhas eletrônicas e organizados em tabelas, contendo as médias das 4 repetições de cada genótipo. Por fim, as variáveis densidade visual de pelos na raiz principal, densidade visual de pelos nas raízes laterais e de medições de comprimentos de pelo da raiz principal, foram usadas para a realização da análise de agrupamento. Essa técnica tem a finalidade de evidenciar relações multidimensionais entre um conjunto de observações, em um gráfico denominado dendograma ou fenograma (JOHNSON; WICHERN, 1988; FREITAS, 1998; GONÇALVES, 2004). A medida de similaridade utilizada foi a distância euclidiana e o dendograma construído pelo método de Ward.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das avaliações nos genótipos de soja:

Tabela 1. Densidade de pelos na raiz principal e nas raízes laterais e comprimento médio dos pelos radiculares (mm) da raiz principal, de 34 genótipos de soja, em plântulas germinadas por sete dias.

Identificação do Genótipo	Densidade de pelos na raiz principal *	Densidade de pelos nas raízes laterais *	Comprimento médio de pelos da raiz principal (mm) *
BMX Desafio RR	2,1	2,50	0,46
BRB11 2794	1,9	1,50	0,40
BRB12 499	2,1	2,00	0,39
BRB12 509	1,5	1,00	0,39
BRB13 3754	2,1	2,00	0,38
BRB13 3755	2,5	1,50	0,37
BRB13 4463	1,3	1,00	0,36
BRB13 8955	1,7	1,50	0,35
BRB13 9174	1,4	1,50	0,34
BRB13 9492	2,5	1,50	0,38
BRB11 11081	2,1	1,50	0,49
BRS 284	2,5	2,50	0,65
DM 6563 IPRO	1,5	1,50	0,48
NA 5959 IPRO	1,9	1,00	0,49
BRB14 207525	1,0	1,50	0,30
BRB14 207526	1,3	1,00	0,31
BRB14 207527	1,3	1,50	0,67
BRB11 5039	1,7	1,50	0,30
BR13 59570	1,5	1,50	0,39
BRS 388 RR	1,5	2,00	0,48
V Max RR	1,1	1,00	0,43
BRR12 83009	1,5	1,00	0,34
BRR12 2599	1,5	2,00	0,39
BRR12 2511	2,0	1,00	0,41
BRR12 76584	2,4	1,50	0,43
BR11 20481	1,7	2,00	0,48
BRR12 55993	1,5	2,00	0,35
BRR12 83021	1,5	1,00	0,34
BR10 53055	1,7	1,00	0,43
BRR12 2576	2,4	2,00	0,48
BRR12 2499	1,7	2,00	0,40
BRR12 2519	1,7	2,50	0,39
BRR12 82228	1,7	2,50	0,40
BRB12 20626	3,0	2,50	0,65

* Média de 4 repetições (3 a 5 plântulas por repetição)

A Figura 2 representa a análise de agrupamento feita pelo método de Ward, para os 34 genótipos de soja.

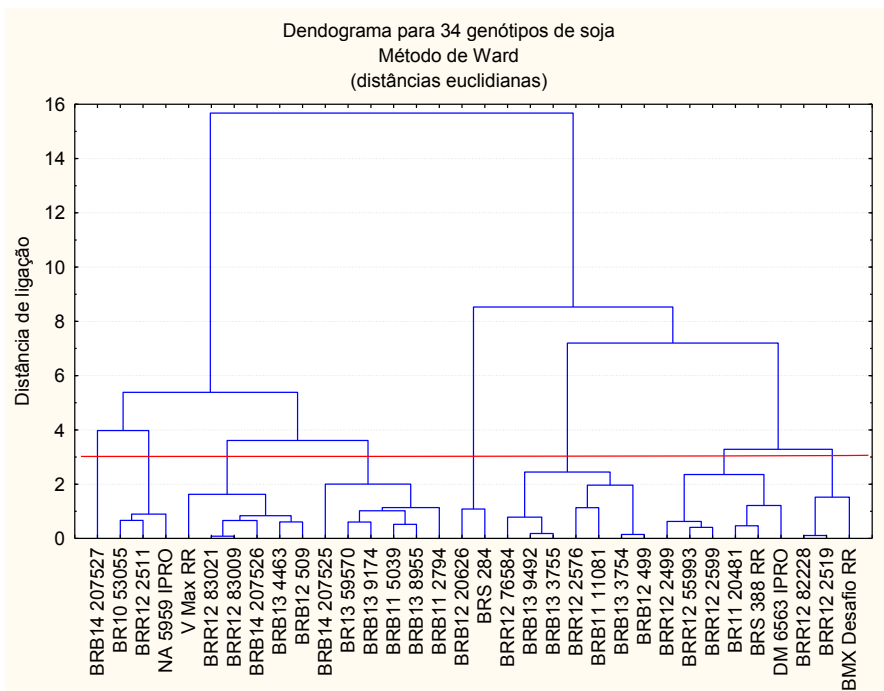


Figura 2. Dendrograma indicando a formação de oito grupos delineados pela linha de corte na distância de ligação 3,0.

Assumiu-se, neste trabalho, que, são curtos os pelos de até 0,35 mm, médios os de 0,36 a 0,45 mm e longos, os de 0,46 mm de comprimento ou mais. Na Figura 2, foram formados 8 diferentes grupos que, juntamente com os dados da Tabela 1, possibilitou a seguinte interpretação dos resultados, observando-se sempre, da esquerda para a direita: O grupo 1, formado por BR14 207527, apresentou densidade de média a baixa na raiz principal e nas laterais, porém mostrou os mais longos pelos do ensaio; o grupo 2, formado pelos genótipos BR10 53055, BRR12 2511 e NA 5959 IPRO, apresentou média a baixa densidade na raiz principal e baixa nas laterais, com pelos médios nos dois primeiros e longos no NA 5959 IPRO; o grupo 3, formado por V Max RR, BRB12 83021, BRB12

83009, BRB14 207526, BRB13 4463 e BRB12 509 e o grupo 4, formado pelos genótipos BRB14 207525, BRB13 59570, BRB13 9174, BRB11 5039, BRB13 8955 e BRB11 2794, mostraram média a baixa densidade de pelos na raiz principal e nas laterais, além de médio comprimento de pelos; o grupo 5, formado pelos genótipos BRB12 20626 e BRS 284, apresentou densidade de média a alta na raiz principal e nas laterais e longos pelos; o grupo 6, formado por BRB12 76584, BRB13 9492 e BRB13 3755, BRR12 2576, BRB11 11081, BRB13 3754 e BRB12 499, apresentou média a alta densidade na raiz principal, média a baixa nas laterais e pelos de comprimento médio, com exceção de BRR12 2576 e BRB11 11081, que mostraram pelos longos; o grupo 7 (BRR12 2499, BRR12 55993, BRR12 2599, BR11 20481, BRS 388 RR e DM 6563 IPRO), apresentou densidade média a baixa na raiz principal e média nas laterais, longos pelos na BR11 20481, na BRS 388 RR e na DM 6563 IPRO) e as demais com médio comprimento de pelos e, por último, o grupo 8, formado por BRR12 82228, BRB12 2519 e BMX Desafio RR, mostrou densidade média a baixa na raiz principal, média a alta nas laterais e pelos de comprimento médio, com exceção da BMX Desafio RR, que mostrou longos pelos.

A região do solo mais rica em nutrientes são as camadas superficiais, principalmente em nutrientes pouco móveis como fósforo e potássio, que são absorvidos pela planta por difusão (LYNCH, 2007). Para serem absorvidos, precisam de um contato muito próximo com a raiz. Por isso, raízes com arquitetura propensas a serem mais superficiais (principalmente raízes basais e nodais) tendem a ocupar uma área maior na camada superficial, aumentando a probabilidade de absorção destes e outros nutrientes (MIGUEL et al., 2013). Raízes com essa arquitetura e ricas em pelos, de preferência longos, têm maior capacidade para a absorção de água, liberação e absorção de fósforo e outros nutrientes, uma vez que pelos longos aumentam a área de absorção da raiz. O comprimento dos pelos da raiz principal são expressos em seu tamanho máximo e têm vida curta (dias ou semanas) (GREGORY, 2006). Mas pelo fato de a raiz principal ser única, a sua pilosidade não representa a pilosidade

total da planta. No entanto, o seu comprimento de pelos pode ser uma referência do tamanho máximo de pelos que um genótipo pode ter. Gonçalves e Lynch (2014a) apresentaram a cultivar de soja FT Cometa, como sendo a de pelos mais longos (0,65 mm, em média). As raízes laterais, por sua vez, são mais abundantes e se ramificam, sendo que a sua pilosidade representa uma grande área de absorção da planta. Por essa razão, a sua riqueza em pelos representa um importante fator de contribuição para a sobrevivência e nutrição das plantas. Assim, o ideótipo procurado nesta seleção seriam aqueles com alta densidade e longos pelos na raiz principal, além de alta densidade de pelos nas raízes laterais. Na ausência dessas características, os melhores genótipos seriam aqueles de longos pelos na raiz principal e alta densidade nas raízes laterais, visto que elas são em maior número.

Conclusões

No dendograma da Figura 2, foi possível formar 8 grupos, na distância de ligação de aproximadamente 3,0 com destaques para:

- o grupo 1, (BRB14 207527), que apresentou os mais longos pelos do ensaio (0,67 mm);
- o grupo 2, que apesar de os genótipos mostrarem densidade média a baixa na raiz principal e nas laterais, um deles, o NA 5959 IPRO, mostrou longos pelos (0,49 mm);
- o grupo 5, (BRB12 20626 e BRS 284), que apresentou as melhores características de todo o ensaio, reunindo num só genótipo, média a alta densidade de pelos na raiz principal, média a alta nas laterais e longos pelos (0,65 mm);
- o grupo 6, com genótipos com média a alta densidade de pelos na raiz principal, sendo dois deles com longos pelos (BRR12 2576, com 0,48 mm e BRB11 11081, com 0,49 mm);

- o grupo 7, com os genótipos mostrando densidade média a alta nas laterais e três deles com longos pelos (BR11 20481, BRS 388 RR e DM 6563 IPRO (todos com 0,48 mm);
- o grupo 8, com densidade média a alta nas laterais e um genótipo com pelos longos (BMX Desafio RR, com pelos de 0,46 mm).
- Os demais genótipos não apresentaram grandes destaques com relação às variáveis estudadas.

Agradecimentos

Aos funcionários do Laboratório de Tecnologia de Sementes da Embrapa Soja pela contribuição e cuidados no manuseio dos genótipos avaliados.

Referências

- BIBIKOVA, T.; GILROY, S. Root hair development. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 21, p. 383-415, 2003.
- BONSER, A.; LYNCH, J.; SNAPP, S. Effect of phosphorus deficiency on growth angle of basal roots in *Phaseolus vulgaris*. **New Phytologist**, v.132, p. 281-288, 1996.
- BRECHENMACHER, L.; LEI, Z.; LIBAULT, M.; FINDLEY, S.; SUGAWARA, M.; SADOWSKY, M.J.; SUMNER, L.W.; STACEY. Soybean metabolites regulated in root hairs in response to the symbiotic bacterium *Bradyrhizobium japonicum*. **Plant Physiology**, v.153, p. 1808-1822, 2010. DOI: 10.1104/pp.110.157800
- BROWN, L.K.; GEORGE, T.S.; DUPUY, L.X.; WHITE, P.J. A conceptual model of root hair ideotypes for future agricultural environments: what combination of traits should be targeted to cope with limited P availability? **Annals of Botany**, v. 112, p. 317-330, 2013. DOI: 10.1093/aob/mcs231.

CORDELL, D.; DRANGERT, J. O.; WHITE, S. The story of phosphorus: global food security and food for thought. **Global Environmental Change**, v.19, p. 292-305, 2009. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009.

FREITAS, E.D. **Variabilidade sazonal da precipitação no Estado do Paraná**. 1998. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas) – Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GAHOONIA, T.S.; NIELSEN, N.E.; JOSHI, P.A.; JAHOR, A. A root hairless barley mutant for elucidating genetic of root hairs and phosphorus uptake. **Plant and Soil**, v. 235, p. 211-219, 2001.

GILBERT, N. The disappearing nutrient. **Nature**, v.461, n. 7265, p.716-718, 2009. DOI: 10.1038/461716a.

GONCALVES, S. L.; LYNCH, J. P. **Pelos radiculares**: seleção de genótipos em soja, girassol e trigo. Londrina: Embrapa Soja, 2014a. 24 p. (Embrapa Soja. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 7).

GONCALVES, S. L.; LYNCH, J. P. **Raízes de plantas anuais**: tolerância a estresses ambientais, eficiência na absorção de nutrientes e métodos para seleção de genótipos. Londrina: Embrapa Soja, 2014b. 67 p. (Embrapa Soja. Documentos, 357).

GONÇALVES, S.L. **Riscos de deficiência hídrica e épocas de semeadura de milho (*Zea mays* L.) na região dos Campos Gerais do Paraná**. 2004. 87f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

GREGORY, P. **Plant Roots: growth, activity and interaction with soils.** Oxford: Blackwell Publishing, 2006. 317 p.

JOCHUA, C.N. **Deploying root traits for african bean breeding.** 2013. 129f. Dissertation in Horticulture (Degree of Doctor of Philosophy) - The Pennsylvania State University, The Graduate School, College of Agricultural Sciences, USA.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis.** 2nd. ed. New Jersey: Pearson, 1988. 607 p.

LYNCH, J.P. Roots of second green revolution. **Australian Journal of Botany**, v. 55, p. 493-512, 2007.

LYNCH, J.P. Steep, cheap and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize roots systems. **Annals of Botany**, v. 112, p. 347-357, 2013. DOI: 10.1093/aob/mcs293.

MACKAY, A.D.; BARBER, S.A. Effect of soil moisture and phosphate level on root hair growth of corn roots. **Plant and Soil**, v. 86, p. 321-331, 1985.

MARQUES JÚNIOR, O.G.; RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; SANTOS, J.B. Viabilidade do emprego de notas na avaliação de alguns caracteres do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, v. 44, n.254, p. 411-420, 1997.

MIGUEL, A.; WIDRIG, A.; VIEIRA, R.F.; BROWN, K.M.; LYNCH, J.P. Basal root whorl number: a modulator of phosphorus acquisition in common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Annals of Botany**, v. 112, n. 6, p. 973-82, 2013. DOI: 10.1093/aob/mct164.

RAVEN, J.A.; EDWARDS, D. Roots: evolutionary origins and biogeochemical significance. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, p. 381-401, 2001.

SEGAL, E.; KUSHNIR, T.; MUALEM, Y.; SHANI, U. Water uptake and hydraulics of the root hair rhizosphere. **Vadose Zone Journal**, v. 7, n. 3, p. 1027-1034, 2008.

STATISTICA for windows: computer program manual. Tulsa: STATSOFT, 1995.

VANCE, C.P. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources. **Plant Physiology**, v. 127, p. 390-397, 2001.

VIEIRA, R. F.; JOCHUA, C.N.; LYNCH, J.P. Method for evaluation of root hairs of common bean genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p.1365-1368, 2007.

WANG, L.; LIAO, H.; YAN, X.; ZHUANG, B.; DONG, Y. Genetic variability for root hairs traits as related to phosphorus status in soybean. **Plant and Soil**, v. 261, p. 77-84, 2004.



Soja